「軽量化金属材料の現状と今後の動向」 特集

用途から見た金属材料の現状と今後の動向 自動車分野

鞫 師 守

1. まえがき

軽量金属材料を中心に、乗用車に使われている金属材料の現状、乗用車・材料に対するニーズの変化とその背景、それらを受けた材料の動向等をリサイクル問題にも触れながら概説する。

2. 自動車を構成する材料

図 1¹⁾は日本の平均的な乗用車に使われている材料の構成の推移を示している。全体として鉄系の材料が徐々に減ってきており、逆にアルミニウム合金と樹脂材料がゆっくりではあるが増ってきている。これは、乗用車に対する高性能化・燃費向上と言う要求を満たすための材料レベルの変化の現われである。マグネシウム、チタン、金属基複合材料も話題になってはいるが、図には現われない程度の使用実績である。乗用車に使われている材料の重量構成比をその材料の素材コストで整理し、図 2 に示す。機能材料を除き、構造材料の使用量はそのコストによってほぼ決まっていると言っても過言ではない。

図1 日本の平均的な乗用車に使われている材料の構成の推移

3. 自動車に対するニーズの動向

3.1 一般論

乗用車に常に要求されているのは、社会の変化と人の価値観の変化に対する適切な対応である。現在起こりつつある車に関連した社会の変化・人の価値観の変化をまとめ図3と図4に示す。これらニーズの変化を受けて、車には、環境面できれいであること、省エネルギー的で

図2 日本の平均的な乗用車に使われている材料の構成比(重量)と素材コスト

地球規模での
環境問題

政治/経済

生活環境

図3 車に対する社会的要請

Automobile Application

筆者紹介 MAMORU SAYASHI

Materials Research Lab., Nissan Research Center, Nissan Motor Co., Ltd.

日産自動車株式会社 総合研究所材料研究所 主任研究員，工学博士

筆者は、金属の凝固・ casting が御専門で、低速充填高圧凝固 casting 法の開発などに携わって来られた。趣味は、山歩き・音楽鑑賞など。

本稿では、乗用車に対する社会的ニーズの変化とこれに対応する金属系材料技術について解説して頂いた。

あること、対外的に静かであること、運転が楽であること、高級感があること、快適であること等の要求が強まってきている²⁾。これらをまとめて図5に示す。これらの要求を実現するために、使われる材料も変化を迫られている。材料に要求されている変化をまとめ、図6に示す。軽量材料としてアルミニウム合金、マグネシウム合金、チタン合金、金属基複合材料等が注目されている。高性能材料として高張力鋼、ニッケル基合金、セラミックス、金属間化合物、そして、高機能材料として電子材料、光学材料、磁気材料等が挙げられている。加えて、これらの材料に省エネルギー的であること、環境的にきれいであること等、人や地球に対しやさしいことも強く求められており、これが最近の材料ニーズの大きな特徴となっている。

3.2 環境問題

環境問題とは、オゾン層の破壊、地球の温暖化、酸性雨、廃棄物の増加、海洋の汚染、野生生物の種の減少、熱帯林の減少、砂漠化、公害等を指す。中でも、自動車に寄与できる環境保護は、CO₂の排出量削減による地球温暖化抑制である。図7は南極の水の中に閉じ込められている空気の実験による大気中CO₂濃度の推定結果と、地球平均気温の推移である。これらの間の因果関係は必ずしも完全に解明されているわけではないが、手遅れにならないうちに可能性のある対策をとっておこうと言う

購買意識の変化

高級化
高性能化
快適/利便性
安全性志向
価値観の多様化

購買者の構成変化

女性ドライバーの増加
高齢者ドライバーの増加

図4 車に対する人の価値観の変化

図5 車に課せられる課題

全世界の認識がある。大気中に排出される年間2000億トンのCO₂のうち化石燃料の燃焼によるものが約50億トンあり、自動車からのCO₂はその2割弱を占めている³⁾。「自動車の燃料消費効率向上により使う燃料を少なくし、CO₂排出量を減らす。」と言う道に期待がかかっている。

図6 自動車用材料に対する期待

図7 大気中CO₂濃度の変化と地球の温暖化

図8 車の燃費向上技術

3.3 車両の軽量化

燃費向上技術には図8に示すものがある。図9に車種と燃費の関係のデータを示す。車両重量低減による燃費向上の効果は明確で⁴⁾、図8に示す手法の中でも、軽量化による燃費向上に対する期待は大きい。とは言っても、前述した車に対する様々な要求に答えることは車重を増すことにつながり、かえって燃費を悪化させる方向にある。したがって、今軽量化技術に寄せられている期待は、これらの車重増加傾向をもカバーし、なおかつ燃費向上に十分な大幅な重量低減を果たす事にある¹⁾。車の軽量化の手法を図10に示す⁵⁾。先に述べた大幅な重量低減はこれらの手法を総合的に活用することにより初めて達成できるものであり、性能の優れた軽量材料の適用にも大きな期待がかけられている。

4. 軽量化材料技術

4.1 一般論

種々材料の軽量化能を図11と図12に示す⁶⁾。異方性が無く使いやすい金属系の材料の中ではマグネシウム合金、アルミニウム合金そしてチタン合金が軽量化能に優れた材料である。

図13に各軽量化項目の軽量化代とコスト変化の累積値を模式化して示す。厳密な計算によるわけではないが、設計者は軽量化の観点でコストパフォーマンスの高い項

図9 現行車の燃費と車重

図10 車の軽量化技術

目から採用していく事になる。図13の曲線のうち、そうコストアップすることなしに軽量化が進められている左側の部分は、主に設計の最適化、鉄鋼材料・アルミ鋳造合金・等既存材料の高強度化、工法の工夫等の項目からなっている。したがって軽量化が求められるときにはこれらの項目から採用することになる。アルミ展伸材料(板や棒)やマグネシウム合金の適用に関しても大きなコストアップなしに軽量化が達成できる部位と工夫もあるが、多くは図13の曲線のうちコストアップの著しい右側の領域に含まれるため安易には採用できない。これらの材料を大幅に拡大採用するためには鉄鋼材料並のコストで使いこなす技術が必要であり、課題も多い。すなわ

図11 各種材料の軽量化ポテンシャル(比強度)

図12 各種材料の軽量化ポテンシャル(比面剛性)

図13 車両軽量化技術項目のコストパフォーマンス

ち、鉄鋼材料の重要性がここに来て大きく崩れたとするのは誤りで、将来に亘り自動車軽量化への鉄鋼材料の寄与が極めて重要である事に変わりはない。

4.2 リサイクル性

自動車全体のリサイクルの概要を図14に示す。エンジンや変速機の様に部品に再利用できるものは解体業者が取り外し、中古部品ルートにのせて再利用している。部品としての再利用はきかないが材料として市場価値を持つもの、主に金属材料はプレス・シュレッダー加工を受け、選別されて材料リサイクルのルートにのる。このようにして車の全重量のおよそ8割がリサイクルされている。最近の強い車両軽量化ニーズが地球環境保全の立場から叫ばれている事を考えると、軽量化を達成するための材料その物も省エネルギーであること、省資源的であることそして少廃棄物の方向に添っていること等の条件を満たすものでなければならぬのは明らかである。

4.3 鉄鋼材料

平均的な日本の乗用車への鉄鋼材料の使用状況を図15に示す。全体としては鉄鋼材料の使用割合は減少してきているが、合金鋼は横這いで、高強度の鋼の使用は著しく増加している。最近ではその伸びは鈍ってきているものの、車体の構造を支える柱や外板に高張力鋼板を用いて軽量化を図る例は珍しくなくなった。鉄鋼材料の工夫による軽量化の例を図16に示す⁷⁾。先の自動車リサイクルのシステムももとはと言えば鉄鋼材料の再利用を目的として整えられてきたものであり、鉄鋼材料にリサイクル上の大きな問題はない。またコストも他の材料に比べて高くなく、高強度な鉄鋼材料の適用は今後の車の軽量化にとって最も重要な手法の一つと考えられている。課題は高強度材の難加工性を克服する材料・工程・適用技術の開発である。

4.4 アルミニウム

乗用車に使われているアルミニウム部品を表1と図17に示す⁸⁾。これまでもアルミニウム部品の採用による軽

図14 自動車のリサイクルフロー

図15 日本の平均的な乗用車に使われている各種鉄鋼材料の構成比(重量)の推移

図16 バナジウム鋼(SV45C)によるコンロッドの軽量化例

図17 乗用車に使われているアルミニウム部品の加工方法別の比率

表1 アルミニウム自動車部品

部 品 名	平均重量 (kg)	加 工 法	部 品 名	平均重量 (kg)	加 工 法
① エンジン関係			シフト・フォーク	0.34	ダイカスト
ピストン	1.2	鑄 造	T/M フロントカバー	0.945	〃
インテークマニホールド	3.2	〃	T/M リアエクステンション	5.5	〃
インジェクター・ミキサー	0.6	ダイカスト	計	19.94	
ウォーターポンプ・ボデー	0.6	〃	③ ブレーキ関係		
ディストリビューター	0.4	〃	マスタ・シリンダ	0.47	鑄 造
ゼネレータ・ハウジング	0.5	〃	ブレーキ・マスター・シリンダ	0.06	鑄 造
スタータ・モーター	0.5	〃	ーピストン	0.28	鑄 造
オイルフィルター・アダプタ	0.6	〃	リアブレーキ・ピストン	0.28	鑄 造
ゼネレータ・ブラケット	1.1	〃	計	0.81	
ヒートチューブ	0.7	押 出	④ そ の 他		
バルブロック・カバー	1.5	ダイカスト	ステアリングギヤ・ハウジング	0.73	ダイカスト
シリンダーヘッド	11.1	鑄 造	エアコン・エバポレータ・イン	1.10	押 出
ロッカー・アーム	0.7	ダイカスト	レット・チューブ・アセンブリ	7 (3.488)	鑄 造 (ダイカスト)
シリンダーヘッドカバー	1.5	〃	エアコン・コンプレッサー		
タイミングチェーンカバー	0.9	〃	ベース・アセンブリ		
オイルポンプ	1.0	〃	エアコン・コンプレッサー・ブ	0.4	押 出
フュエル・ポンプボデー	0.2	〃	ラケット		
キャブレター	1.0	〃	エアコン・アキュムレータ	0.85	〃
バルブ	0.2	〃	ヒータ・アウトレットパイプ・	0.147	圧延・ダイ カスト
リードバルブ	0.15	〃	アセンブリ		
オルタネータ・ボデー	0.6	〃	ランプ・ブラケット	0.147	ダイカスト
サーモスタットカバー	0.12	〃	ワイパーモーター・ケーシング	0.02	〃
ディストリビューター・ボデー	0.2	〃	ワイパーリング取付ボス	0.041	〃
エアーバルブケース	0.1	〃	ワイパーアームボス	0.383	鑄 造
インタークーラー	2.8	押 出	クラッチ部品	0.46	ダイカスト
インテークマニホールド・コレ	5.47	鑄造+ダイ カスト	ウインド・レギュレータ	0.559	〃
クター		鑄造, ダイ カスト	ファン・カップリング	33.1	鑄 造
スロットル・ボデー	0.4	ダイカスト	ホイール	計	44.69
バルブリフトガイド	1.52	ダイカスト	合 計	105.42(72.32)	
エアフローメーター	1.12	〃	ただし、()内はホイールを除く。 国産乗用車8車種に使用されたアルミ製品の平均		
小 計					
② ドライブ・トレイン関係					
トランスミッション・ハウジング	6.96	ダイカスト			
クラッチ・ハウジング		〃			
リヤカバー	5.2	〃			
トルクコンバータ・カバー		〃			
トルクコンバータ・ステータ		〃			
カバナーボデー		〃			

量化が進められてきており、アルミニウム合金は全車体重量の5%程に至った。その多くはダイカスト、低圧鑄造等による鑄造品であり⁹⁾、今後もそれら部品の最適設計や適用拡大による軽量化は重要な位置を占めるものと考えられている。最近特に検討されているのは板や棒な

ど展伸材(塑性加工材料)の自動車への適用である¹⁰⁾。比強度や比剛性に優れているため理論的には鉄鋼材料に比べて4割程度の軽化量を達成できるとされている。図18にアルミニウム合金板の車両外板への適用例を示す⁷⁾。欧州を中心に同様の適用例が数例報告されている

図18 アルミ合金板の車体外板への適用による軽量化の例

が、材料費が鋳造材料の倍程度であることを反映してコスト高になることが多く、これまでの適用範囲はどうしても軽量化を達成しなければならない部位、あるいは、素材コストの上昇を販価に反映できる車種に限られてきた¹¹⁾。

エンジンのブロックやヘッドに代表されるアルミ鋳造品も図15に示すリサイクルルートによって再生地金としてほぼ完全に再利用されている。しかし今後の展伸材の適用による軽量化を本格的なものとするためには、資源確保と材料コスト安定化のため、展伸材を展伸材にリサイクルする技術が必要になる。具体的には、リサイクルしやすい材料構成の選択、分解しやすい構造の採用、材

表2 欧米のマグネシウム自動車部品

GM	キャディラック	ヘッドカバー、オイルフィルターケース
	コルベット	ヘッドカバー、エアクリナーハウジング、ディストリビューター、ダイヤフラムハウジング、トランスミッションオイルパイプリテーナー、灰皿扉、ギヤシフト収容部、ステアリングハンドルコラム、ヘッドライトドア
	ボンティアック	エンジンブロック、ヘッドライトブラケット、エンジンカバーグリル、エアインテークグリルセンターパネル
	シボレー	ヘッドカバー、エアクリナーカバー
	ビューイック	ヘッドライトフレーム
フォード	サンダーバード	インサイドトリムカバープレート
	リンカーンマーク VI	ステアリングハンドルロックハウジング、ディストリビューターダイヤフラムハウジング
	軽トラック	クラッチハウジング、ブレーキ&クラッチペダルブラケット、ステアリングコラムロックハウジング、トランスファーケースハウジング
クライスラー	ダッジ	ギヤシフトカバー
フォルクスワーゲン	ビートル	クランクケース、トランスミッションハウジング、エンドプレートカバー、アクスルドライブカバー、プロアーハウジング、タイミングギヤ
	ゴルフ	クラッチハウジング、ギヤボックス
ボルシェ	ボルシェ911	ファン、ファンハウジング
	ボルシェ944ターボ	ロードホイール
ボルボ	ボルボ LCP2000	スロットルリンケージ、ハンドブレーキリンケージ、ステアリングロックハウジング、アウトードアハンドル
アルファロメオ	GTV2	ギヤハウジング、クラッチカバー、ヘッドカバーサンブ、サンブボトム、ロードホイール
ベンツ	500SL	シートフレーム
アウディ	V8	インストルメントパネル

種の表示, シュレツダ材の分別技術, 鉄を代表とする不純物元素の分離技術等の開発である。展伸材を鑄造材並にあるいは鉄鋼材料並に使いこなすためにはこれらコスト, リサイクルの課題のほか, 剛性や安全を確保するための設計技術, 板・押し出し材の成型技術, 接合技術など, 量産に向けた多くの技術課題を解決して行く必要がある。

4.5 マグネシウム

図11, 図12に示されるようにマグネシウム合金の持つ軽量化ポテンシャルは極めて高い。自動車に適用されているマグネシウム部品を表2¹²⁾に示す。マグネシウムの難点は耐蝕性とコストと安全性と言われてきており, 世界的に見ても自動車用マグネシウム部品は総計3万トン/年程度の実績にとどまっている¹³⁾。しかしながら, 現在ではそれらの課題は技術的にはほぼ解決している^{12, 14, 15)}。マグネシウム部品の他材料との競合状況を表3に示す¹⁶⁾。部品の選定と設計製造技術をマグネシウムに適したものとすることによって, コストは十分競争性のあるものとなることが分かる。

マグネシウムはマグネシウムにリサイクルされることで初めて資源の確保とコストの安定化が図れるが, 現在のところリサイクルのルートと技術が確立されているとはいえない。分解しやすい構造の採用, 材種の表示, シュレツダ材の分別技術, 鉄, 銅, ニッケル等有害な不純

表3 北米におけるマグネシウム自動車部品の生産量・目的・コスト競合性

競合材料	Mg部品生産量 (トン)	Mg化の理由	コストがほぼ 同等の物の割合
アルミニウム	2629 (52%)	軽量化 100%	21%
スチール	1980 (39%)	軽量化 97% スタイリング 3%	97%
亜鉛	331 (7%)	軽量化 100%	100%
プラスチック	86 (2%)	耐久性 100%	0%
計	5026	軽量化 96% スタイリング 2% 耐久性 2%	

物元素の分離技術等, マグネシウムはアルミニウム展伸材と同様のリサイクル関連課題を持つ。マグネシウム自動車部品を回収し地金に再生しているヨーロッパメーカーもあり, 北米では工程内廃材をリサイクルするルートも開発されてきている。これらの課題も着実に解決されつつあると言える。このほかの技術課題として安価な耐熱合金の開発がある。一般に用いられているマグネシウム合金は100℃を越える温度では使いにくく, 耐熱性は通常のアルミ合金より劣る。高温でも耐える強い材料の開発により, マグネシウム合金の自動車への適用可能範囲が拡大することが期待されている¹⁷⁾。

4.6 チタン, 複合材料, 他

これまでにない軽量化を実現する可能性があるとして, 従来の自動車用材料にない優れた特性を持つチタン, 複合材料等の新素材が話題となることも多い。これまでのところこれら材料の市販自動車への使用実績は極めて少なく, 今後徐々に伸びて行くものと考えられている。しかし「性能の優れた車を安価に大量に提供する。」と言う日本の乗用車メーカーの一般的コンセプトの範囲では, 1kg当たり数千円から数万円の高価な材料は極めて使いにくい。図4に示したように, 一台の車に使用される材料の量は材料コストにより自ずと決まっており, 高価な材料が大量に使われることはまずない。それぞれのコストに対応する小量の適用と言う状況から脱却するためには, 適用を期待する量に対応する低コストの実現, あるいは他材料では果たせない高性能・高機能の実現が必須である。

金属基複合材料の自動車への適用例を表4に示す。これまで金属基複合材料があまり自動車に使われていない理由は主にその総合的に見たコストにあるが, 今後大量に使われるようになるための課題としてリサイクル技術の確立も加わった。硬い強化粒子・強化繊維が分離されずに一般のアルミニウム合金に混入すると機械的性質を損なうばかりでなく, 機械加工性にも悪影響を及ぼす。工程や部品回収で発生する廃材から効率良く安価に強化材を除去する技術の確立が必要である。

表4 金属基複合材料自動車部品

部 品	材 料	成形法	目 的		
			軽 量 化	音振低減	耐摩耗性
ピ ス ト ン	セラミックス短繊維強化アルミ	鑄 造	○	○	○
バルブリテーナ	セラミックス粒子分散アルミ	鍛 造	○		○
コンロッド	ステンレス長繊維強化アルミ	鑄 造	○	○	
エンジンブロック	セラミックス短繊維強化アルミ	鑄 造	○		○

5. あとがき

自動車のリサイクルという観点では、金属材料は他材料に比べて一歩進んでいる感があるが、アルミニウム展伸材、マグネシウム合金、金属基複合材料等、期待される軽量金属材料の今後の発展にはリサイクル技術やリサイクルシステムの確立が不可欠である。自動車産業は60年代の高性能化、70年代のエネルギー危機・排ガス規制等、様々な社会環境変化に対し、車両高性能化、燃費低減、排ガス浄化等の技術で対応してきた。80年代、90年代とクローズアップされてきている軽量化やリサイクル化等、地球環境問題に端を発する課題に対しても材料技術を含む総合的な技術で解決を目指している。本稿が樹脂系複合材料をはじめ、異分野材料の研究開発に多少なりとも参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本自動車工業会：日本の自動車（1990）
- 2) 矢野：自動車技術，44（1990），1，25
- 3) R.A. ホーン，他：サイエンス，19（1989），6，29
- 4) S. Takasuga: International Symposium on Aluminum in Transportation (1989)
- 5) 栗原，近藤，千葉：日産技報，29（1991）
- 6) 神戸，浅川：素形材（1990），3
- 7) 日産自動車中央研究所材料研究所：日経ニューマテリアル，68（1989），9，64
- 8) 近田：軽金属，38（1988），2，118
- 9) 軽金属協会自動車委員会：自動車のアルミ化調査報告（第三回）（1989）
- 10) 細見：住友軽金属技報，32（1991），1，1
- 11) D. Kewley，他：SAE-Paper (1987)，870146
- 12) 平沢：マグネシウムマニュアル（1990），1
- 13) J. F. Vesseler: 47th Annual World Magnesium Conference Proceedings (1990)，1
- 14) J. D. Hanawalt, C. E. Nelson, J. A. Peloubet: Trans AIME, 147 (1942), 273
- 15) J. E. Hillis, R. W. Murray: SDCE 14th International Die Casting Congress (1987), G-T87-003
- 16) S. O. Shook: 46th Annual World Magnesium Conference Proceedings (1989)，6
- 17) W. E. Mercer: SAE-Paper (1990)，900788

（平成4年7月2日受理）

第17回繊維材料研究会講座

主題：ニューファイバーテクノロジーの最先端

主催：高分子学会 繊維材料研究会

協賛：繊維学会ほか

日時：10月23日（金） 9：30～16：50

会場：東京理科大学 理窓会館 3階 第1会議室

（東京都新宿区神楽坂2-13-1，

電話03-3260-0725）

参加要領：1) 定員70名 2) 参加費 主催・協賛学協会員 会社13,000円 大学・官公庁5,000円 学生2,000円 会員外26,000円 3) 申込方法 ハガキに氏名，勤務先，連絡先（電話番号），会員番号，振込月日を明記し，下記あてお申し込み下さい。参加費は銀行振込（さくら銀行新橋東支店 普通口座0920867 高分子学会名義）にてお支払い下さい。

連絡先：〒104 東京都中央区築地2-4-2 築地第3長岡ビル 高分子学会 繊維材料研究会講座係
電話 03-3543-7857 FAX 03-3545-8560

92/1プラスチックリサイクル研究会

ーリサイクルへの挑戦ー

主催：高分子学会 プラスチックリサイクル研究会

協賛：繊維学会ほか

日時：10月21日（水） 9：50～16：10

会場：日本化学会 化学会館ホール（東京都千代田区神田駿河台1-5）

電話 03-3292-0120 交通 JR 中央/総武線および地下鉄丸の内線 お茶の水駅下車，千代田線新お茶の水駅下車 徒歩5分程度。

参加要領：1) 定員100名 2) 参加費 正会員（①企業 5,000円 大学・官公庁3,000円 本研究会メンバー 無料（法人メンバー3名まで無料） 3) 申込方法 氏名，勤務先，所在地（連絡先）を明記し下記宛てお申し込み下さい。

申込先：〒104 東京都中央区築地2-4-2 築地第3長岡ビル 高分子学会 プラスチックリサイクル研究会 電話 03-3543-7858 FAX 03-3545-8560